บทที่ 5
การตรวจสอบแนวเชื่อม

5.1 การตรวจสอบด้วยวิธีไม่ทำลาย

เมื่อทำการเชื่อมเสร็จจะมีการตรวจสอบรอยเชื่อมโดยวิธี Nondestructive test หมายถึงกรรมวิธีที่ใช้ค้นหารอยบกพร่องหรือความผิดปกติใดๆที่มีอยู่ในชิ้นงานทั้งที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานหรือไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงานนั้น กรรมวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายมีหลายวิธี เช่น การตรวจสอบด้วยของเหลวแทรกซึม, การตรวจสอบด้วยผงแม่เหล็ก, การตรวจสอบด้วยกระแสไหลวน, การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี, การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิค, การตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชั่น เป็นต้น

องค์การมาตรฐานนานาชาติได้แบ่งกรรมวิธีการตรวจสอบด้วยวิธีไม่ทำลายที่เป็นกรรมวิธีพื้นฐาน 6 กรรมวิธี ได้แก่

(1.) การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี
(2.) การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงอุลตรา
(3.) การตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก
(4.) การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม
(5.) การตรวจสอบด้วยกระแสเหนี่ยวนำ

5.1.1 การสอบงานด้วยภาพถ่ายรังสี

(1.) ฟิล์มถ่ายภาพรังสี ฟิล์มถ่ายภาพรังสีในงานอุตสาหกรรมแบ่งประเภทดังต่อไปนี้ โดยกำหนดให้
- การถ่ายภาพรังสีโดยใช้ฉากเรืองแสงความหมายสูง ซึ่งถ้าเลือกใช้ฉากตะกั่วแทนหรือไม่ใช้ฉาก กำหนดให้ทั้งความเร็ว การจำแนกและเกรนนิเนสจะมีค่าปานกลาง
- แปรผันโดยตรงกับฉากเรืองแสงที่ใช้

(2.) ฉาก กำหนดให้ใช้ฉากความหมายสูง ยกเว้นในงานซึ่งกำหนดเป็นกรณีพิเศษ

(3.) การล้างฟิล์ม หลักสำคัญของกรรมวิธีการถ่ายภาพรังสีให้สัมฤทธิผลคือ กระบวนการล้างฟิล์มซึ่งมีวิธีการล้างด้วยเครื่องและการล้างฟิล์ม

คุณภาพของฟิล์มถ่ายภาพรังสีที่ผ่านการล้างต้องปราศจากลักษณะผิดพลาดทั้งทางกลและทางเคมี รวมทั้งร่องรอยที่เป็นมลทินต่อพื้นที่เป้าหมายของภาพถ่ายรังสี ได้แก่

a. รอยหมอก
b. ข้อบกพร่องจากการล้างฟิล์ม ได้แก่ คราบน้ำ รอยเปื้อนของน้ำยาเคมี เป็นต้น
c. รอยนิ้วมือ รอยขูดขีด รอยย่น รอยฝุ่นละออง รอยจับยึด รอยด่าง และรอยฉีก
d. ความผิดพลาดจากผิวสัมผัสระหว่างฉากและฟิล์มไม่ดีพอ
e. ความผิดพลาดจากฉากที่มีรอยตำหนิ

(4.) ความเข้มของภาพถ่ายรังสี ความเข้มของภาพถ่ายรังสีในพื้นที่เป้าหมายมีดังนี้

ก. สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ภาพถ่ายเดี่ยว ความเข้มต้องไม่ต่ำกว่า 1.8 ถ้าเป็นภาพคู่ ความเข้มต้องไม่ต่ำกว่า 2.6

ข. สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกรมม่า ภาพถ่ายเดี่ยว ความเข้มต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 ถ้าเป็นภาพคู่ ความเข้มต้องไม่ต่ำกว่า 2.6

ค. ในภาพถ่ายคู่ในแต่ละฟิล์มต้องมี ความเข้มไม่ต่ำกว่า 1.3

ง. สำหรับค่าความเข้มมากที่สุดต้องไม่เกิน 4.0

จ. ค่าความผิดพลาดของความเข้มของภาพถ่ายรังสี คือ 0.05

ฉ. การตัดสินค่าความเข้ม ให้ใช้เครื่องมือวัดค่าความเข้มหรือเปรียบเทียบจากภาพถ่ายของชิ้นงานมาตรฐานแบบขั้นบันได

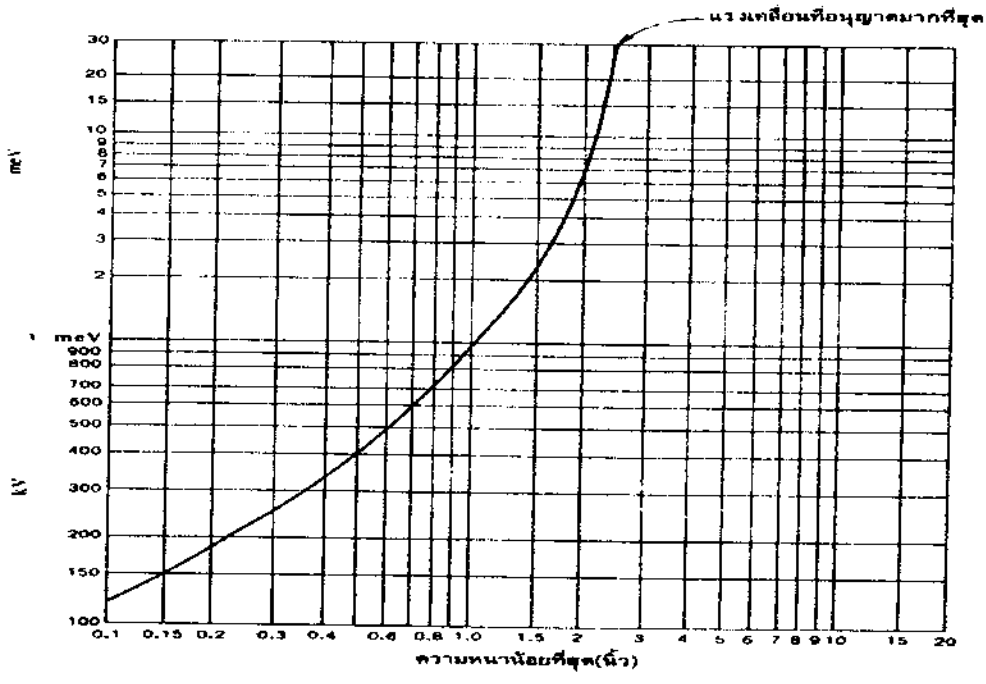
(5.) การตรวจสอบผลกระทบของรังสีสะท้อนกลับ กำหนดให้ใช้ตัวหนังสือตะกั่วตัวอักษร B ขนาดความสูงน้อยที่สุด 1/2 นิ้วและความหนาน้อยที่สุด 1/16 นิ้ว (1.6 มิลลิเมตร) ติดไว้ด้านหลังของซองบรรจุฟิล์ม ถ้าปรากฏตัวอักษร B ขึ้นบนภาพถ่ายรังสีให้ยกเลิกการตัดสินผลของฟิล์มดังกล่าว

(6.) ข้อมูลจำเพาะของงาน ที่กำหนดไว้ในแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ชื่อหรือสัญลักษณ์ของเจ้าของงาน และวันที่ที่ดำเนินการถ่ายภาพรังสี ซึ่งต้องไม่กำหนดไว้ในพื้นที่เป้าหมาย

(7.) ตำแหน่งของสัญลักษณ์กำหนด

(8.) การเลือกใช้พลังงานรังสี รังสีเอกซ์กำหนดตามรูปที่ 45 ส่วนรังสีแกมมากำหนดตามตารางที่ 12 ในการเปรียบเทียบความต้านทานพลังงานรังสีสำหรับวัสดุต่างๆ กำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณ ดังตารางที่ 18

(9.) ความคมของภาพ องค์ประกอบทางเรขาคณิตที่ทำให้เกิดความพร่าสูงสุดของภาพ (Ug) ดังตาราง 13 คุณภาพของภาพถ่ายรังสีตามตารางที่ 14 และ 15



รูปที่ 45 การเลือกใช้พลังงานรังสีเอกซ์

เหล็ก	0.75 นิ้ว	1.50 นิ้ว
ทองแดงหรือนิกเกิล	0.65 นิ้ว	1.30 นิ้ว
อะลูมิเนียม	2.50 นิ้ว	

ตารางที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและสารกัมมันตภาพรังสีแกมมา

ความหนาของวัสดุ (นิ้ว)	ความพร่ำสูงสุดของภาพ (D_g) (นิ้ว)
ต่ำกว่า 2	0.020
2-3	0.030
3-4	0.040
4 ขึ้นไป	0.070

ตารางที่ 13 พิกัดความพร่ำสุดของภาพ

2-1 T	2	1 T	1.4
2-2 T	2	2 T	2.0
2-4 T	2	4 T	2.8

ตารางที่ 14 ระดับคุณภาพของภาพถ่ายรังสี

ระดับคุณภาพของภาพถ่ายรังสี	ความหนาของชิ้นกำหนดคุณภาพของการทะลุทะลวงของรังสี	รูกลมเล็กที่สุดที่มองเห็นได้	เปอร์เซ็นต์ของระดับความไวของชิ้นกำหนดคุณภาพการทะลุทะลวงของรังสี
ระดับการตรวจสอบคุณภาพพิเศษ			
1-1 T	1	1 T	0.7
1-2 T	1	2 T	1.0
4-2 T	4	2 T	4.0

ตารางที่ 15 ระดับคุณภาพของภาพถ่ายรังสีแบบพิเศษ

เกณฑ์การตัดสิน ในงานการเชื่อมที่ตรวจสอบด้วยวิธีถ่ายภาพรังสีนั้น เมื่อปรากฏข้อบกพร่องดังต่อไปนี้ให้ถือว่างานการเชื่อมดังกล่าวปฏิเสธการใช้งาน

(1.) รอยแตกร้าวทุกชนิด พื้นที่ของลักษณะหลอมละลายไม่สมบูรณ์และซึมลึกไม่สมบูรณ์

(2.) แสลกฝังในตามยาว ซึ่งมีขนาดความยาวมากกว่าค่ากำหนด

(3.) กลุ่มของแสลกฝังในตามยาวขนาดรวมกันมีค่ามากกว่า t ในระยะความยาว 12 t ยกเว้นในกรณีที่ระยะห่างระหว่างความไม่สมบูรณ์ที่ต่อเนื่องกันระยะห่างระหว่างความไม่สมบูรณ์ที่ต่อเนื่องกันระยะทางเกินกว่า 6L เมื่อ L หมายถึงขนาดความยาวที่มากที่สุดของกลุ่มของความไม่สมบูรณ์

(4.) ลักษณะบกพร่องรูปกลมเกินขนาดเกินกว่าค่ากำหนดตามมาตรฐานการยอมรับ

5.1.2 การสอบงานด้วยคลื่นเสียงอัลตรา

กรรมวิธีนี้กำหนดเฉพาะวิธีการและมาตรฐานการตรวจสอบด้วยการสัมผัสโดยตรงเพื่อกวาดส่งคลื่นเสียงตรวจสอบที่ปฏิบัติการโดยใช้มือ

ขั้นตอนการสอบงานนั้น การตรวจสอบงานด้วยคลื่นเสียงอัลตราต้องดำเนินการก่อนหรือหลังการปรับปรุงคุณภาพภายหลังการเชื่อมด้วยความร้อน ยกเว้นในกรณีของกระบวนการเชื่อมด้วยกรรมวิธีอิเล็กโทรสแลก สำหรับวัสดุเฟอริติกต้องดำเนินการตามหลังกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพของเกรนโลหะ (ตัวอย่างเช่น กรรมวิธีนอร์มอลไลซิ่ง) หรือภายหลังกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนภายหลังงานการเชื่อม

กรรมวิธีการใช้งาน การสอบงานการเชื่อมกำหนดให้ใช้การทดสอบด้วยกรรมวิธีส่งคลื่นเป็นมุม ในกรณีที่สภาพงานเชื่อม ไม่สามารถดำเนินการสอบงานด้วยกรรมวิธีส่งคลื่นเป็นมุมจากผิวหน้าทั้งสองด้านของงานเชื่อม หรือจากผิวหน้าด้านเดียวหรือจากผิวหน้าทั้งสองผิวหน้าทั้งสองผิวหน้า กำหนดให้เลือกใช้ระหว่างการใช้งานร่วมกันของกรรมวิธีส่งคลื่นมุมและกรรมวิธีส่งคลื่นตรง หรือกรรมวิธีการส่งคลื่นตรงในสองทิศทาง เป็นมุมฉาก (90 องศา) ซึ่งกันและกัน

มาตรฐานการตรวจสอบ เพื่อเป็นการรับประกันว่า การปฏิบัติการตรวจสอบครอบคลุมพื้นที่ของวัสดุชิ้นงานตรวจสอบในแต่ละพื้นที่ ซึ่งการตรวจสอบต้องซ้อนเกยกันอย่างน้อยที่สุด 10 เปอร์เซนต์ของความกว้างของหัวทดสอบ ความเร็วในการเคลื่อนที่หัวทดสอบเพื่อกวาดส่งคลื่นเสียงตรวจสอบ กำหนดให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 6 นิ้ว/วินาที

ตะเข็บ รอยแยก แตกแยกชั้น และฟองอากาศฝังใน

หลักการคือ กรรมวิธีการใช้สารแทรกซึมเข้าไปอยู่ภายในลักษณะบกพร่องของชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ และกำจัดสารแทรกซึมที่เกินอยู่บนผิวหน้างานออก จากนั้นจึงเคลือบทับด้วยสารดูดซับซึ่งทำหน้าที่ดูดซับสารแทรกซึมที่อยู่ภายในลักษณะบกพร่องออกมาโดยปรากฏเป็นลักษณะความกระจ่าง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างสีของสารแทรกซึม (ชนิดปกติและชนิดเรืองแสง) กับสีของสารดูดซับ

ประเภทของสารแทรกซึม กรรมวิธีนี้ครอบคลุมเฉพาะวิธีการใช้สารละลายสำหรับกำจัดสารแทรกซึมส่วนเกิน โดยไม่รวมถึงวิธีการใช้น้ำล้าง และวิธีการใช้น้ำยาเคลือบผิวกำจัดสารแทรกซึมส่วนเกิน ในกรณีที่ใช้สารแทรกซึมตรวจสอบวัสดุออสเตนนิติกสแตนเลส สารแทรกซึมต้องตรวจสอบสารเจือปนมากที่สุดตามข้อกำหนด และผลการตรวจสอบต้องได้รับการทบทวนและเก็บรักษาไว้โดยผู้ตรวจสอบระดับ III

ปริมาณสารเจือปน ซัลเฟอร์ 1000 ppm
คลอไรด์ 1000 ppm
ฟลูออไรด์ 100 ppm

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับสารเจือปนชนิดอื่นๆปริมาณผลรวมทั้งหมดของส่วนที่เหลือ ต้องได้รับรองโดยบริษัทผู้ผลิตสารแทรกซึม

อุณหภูมิการตรวจสอบ อุณหภูมิของพื้นผิวหน้างานและส่วนที่ปฏิบัติการตรวจสอบต้องไม่ต่ำกว่า 60 องศาฟาเรนไฮต์ หรือไม่เกิน 125 องศาฟาเรนไฮต์ ตลอดช่วงระยะเวลาการตรวจสอบ ในกรณีที่ต้องปฏิบัติการตรวจสอบชิ้นงานด้วยอุณหภูมินอกเหนือจากปริมาณที่กำหนด ให้ปฏิบัติการตามภาคผนวกว่าด้วย Liquid Penetrant Examination Procedure for Non-standard Temperature

ระยะเวลาการตรวจสอบ การสอบงานด้วยสารแทรกซึม ต้องปฏิบัติภายหลังการปรับปรุงคุณภาพวัสดุ ภายหลังงานการเชื่อมด้วยความร้อน ยกเว้นในกรณีที่ใช้วัสดุ P-No.1 ซึ่งต้องปฏิบัติการตรวจสอบทั้งก่อนและภายหลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพงานการเชื่อมด้วยความร้อน รอบเชื่อมของวัสดุชิ้นงานที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกันเข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น วัสดุออสเตนนิติกกับวัสดุเฟอริติก หรือใช้วัสดุออสเตนนิติกเป็นวัสดุเชื่อมเพื่อเติมลงในรอยต่องานเชื่อมของวัสดุเฟ

อริติกสำหรับรอยซึมลึกของงานถัง ต้องได้รับการตรวจสอบภายหลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพงานการเชื่อมด้วยความร้อนในขั้นสุดท้าย

5.1.4 การสอบงานด้วยอนุภาคแม่เหล็ก

หมายถึง กรรมวิธีการตรวจหารอยแตกร้าว หรือลักษณะบกพร่องอื่นๆที่อยู่บนผิวหน้า หรือภายใต้ผิวหน้างานของวัสดุที่เป็นแม่เหล็กได้ลักษณะที่บ่งชี้ปรากฏเด่นชัดเมื่อลักษณะบกพร่องบนผิวหน้างานและจะลดน้อยลงอย่างรวดเร็วเมื่อลักษณะบกพร่องมีตำแหน่งลึกลงไปใต้ผิวหน้างาน ลักษณะบกพร่องที่สามารถตรวจพบได้แก่ รอยแตกร้าว รอยเกย รอยตะเข็บ หลอมละลายไม่สมบูรณ์ และน้ำโลหะแข็งปิดทาง

หลักการ ได้แก่ การสร้างสนามแม่เหล็กในพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ และกำหนดให้ใช้ผงเหล็กเป็นลักษณะบ่งชี้ลักษณะบกพร่อง ซึ่งเป็นผลจากอำนาจแรงดึงดูด เนื่องจากลักษณะบกพร่อง เทคนิคในการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นในพื้นที่กำหนด เพื่อให้ประสิทธิภาพการตรวจพบสูงที่สุด คือ ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กต้องตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของลักษณะบกพร่อง ดังนั้นต้องตรวจสอบตำแหน่งละอย่างน้อยสองครั้งระยะเวลาการสอบงาน การสอบงานด้วยอนุภาคแม่เหล็กต้องปฏิบัติการภายหลังการปรับปรุงคุณภาพงานเชื่อมด้วยความร้อน ยกเว้นกรณีที่ใช้วัสดุ P-No.1 ซึ่งต้องปฏิบัติการตรวจสอบทั้งก่อน และภายหลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพงานการเชื่อมด้วยความร้อน

ขั้นตอนการปฏิบัติการตรวจสอบ ขั้นตอนการปฏิบัติการตรวจสอบต้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่องคือ เริ่มต้นจากการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นในชิ้นงานและคงสภาพอยู่ตลอดช่วงระยะเวลาที่ดำเนินการด้วยอนุภาคแม่เหล็กเพื่อตรวจสอบ และในขณะที่กำจัดอนุภาคแม่เหล็กส่วนเกินออกไป ลักษณะของอนุภาคแม่เหล็ก อนุภาคแม่เหล็กที่มีขนาดเล็กละเอียดที่สุดสำหรับตรวจหาข้อบกพร่อง ต้องมีสีที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนบนพื้นผิวตรวจสอบ กำหนดให้ใช้อนุภาคแม่เหล็กแบบแห้งโดยการปฏิบัติการตรวจสอบบนพื้นผิวตรวจสอบที่มีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 600 องศาฟาเรนไฮต์ ลักษณะการวางตัวของข้อบกพร่อง กรรมวิธีอย่างไรก็ได้ที่สามารถสร้าง ฟลักซ์แม่เหล็กที่มีระดับความไวมากที่สุดที่สามารถตรวจพบลักษณะบกพร่องตามแนวยาวที่ตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กเพื่อเป็นการรับประกันประสิทธิภาพในการตรวจพบข้อบกพร่อง ดังนั้นในแต่ละพื้นที่ตรวจสอบต้องปฏิบัติการอย่างน้อยที่สุด 2 ครั้งด้วยกรรมวิธีหนึ่งที่เส้นแรงแม่เหล็กตั้งฉากกับแนวแกนของข้อบกพร่อง

ระยะซ้อนเกยในการตรวจสอบ ต้องเหมาะสม เพื่อให้รับประกันได้ว่าครอบคลุมพื้นที่ตรวจสอบได้สมบูรณ์ การกำจัดอำนาจแม่เหล็กตกค้างต้องปฏิบัติการภายหลังการสอบงานเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว ซึ่งกำหนดไว้ในข้อกำหนดและ/หรือมาตรฐาน และหมายหตุของคู่มือปฏิบัติการตรวจสอบหรือในแบบงาน เป็นต้น

การทำความสะอาดขั้นสุดท้าย พื้นผิวตรวจสอบทั้งหมดต้องได้รับการทำความสะอาดให้ปราศจากอนุภาคแม่เหล็กที่ตกค้างภายหลังกรรมวิธีการตรวจสอบและการกำจัดอำนาจแม่เหล็กตกค้างเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว ส่วนจุดมุ่งหมายการทดสอบนั้น ใช้เพื่อการพิสูจน์คุณสมบัติทางกลของวัสดุ สำหรับการออกแบบ การสร้างงาน การวิเคราะห์ผล เป็นต้น โดยใช้วิธีการทดสอบกำหนดค่าที่การแตกสลายของวัสดุ ได้แก่

(1.) การทดสอบแรงดึง เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ

(2.) การทดสอบแรงกระแทก เพื่อหาค่าความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ

(3.) การทดสอบการดัดงอ เพื่อหาความทนทานต่อดัดงอของวัสดุ

(4.) การทดสอบความแข็ง เพื่อหาค่าความแข็งของวัสดุ

(5.) การทดสอบความล้าตัว เพื่อหาค่าความคงทนต่อการใช้งาน

นอกจากที่กล่าวถึงแล้ว ยังมีการทดสอบอีกหลายวิธี โดยมีจุดมุ่งหมายสำคัญเพื่อให้ทราบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ และเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการรับรองคุณวุฒิช่างเชื่อม

ตารางที่ 16 ลักษณะการตรวจสอบกรรมวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา Co-60 Ir-192

กรรมวิธี	ความสามารถในการตรวจพบ	การใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์	ข้อบกพร่องภายในทุกชนิด เช่น ฟองอากาศฝังใน สารมลทินฝังใน รอยแตกร้าว รอยสึกกร่อน รอยบางลง เป็นต้น ความแตกต่างของความเข้ม ความหนา ช่องเว้นห่างและตำแหน่ง ระดับผิดพลาด การประกอบผิดพลาด	งานหล่อ งานประกอบทางไฟฟ้างานเชื่อม งานขนาดเล็ก บาง และยุ่งยาก งานอโลหะ งานประกอบชิ้นส่วน	ผลตรวจสอบเก็บรักษาได้ ตั้งปรับระดับพลังงานได้ ความกระจ่างของภาพสูง รูปทรงเลขาคณิตไม่มีผลกระทบกับทิศของลำรังสี	ราคาต้นทุนครั้งแรกสูง ความลึกของข้อบกพร่องกำหนดได้ยาก การสะท้อนกลับของรังสีมากทำให้ความไวในการตรวจสอบลดลง การแพร่การจายของรังสี ข้อบกพร่องตามแนวยาวตรวจพบได้ยาก
ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา	ข้อบกพร่องภายในทุกชนิด เช่น ฟองอากาศฝังใน สารมลทินฝังใน รอยแตกร้าว รอยสึกกร่อน รอยบางลง เป็นต้น ความแตกต่างของความเข้ม ความหนา ช่องเว้นห่างและตำแหน่ง	สามารถใช้งานในขอบเขตที่เครื่องมือถ่ายภาพรังสีเอกซ์ไม่สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก หรือในงานสนาม สามารถถ่ายภาพได้รอบตัว	การลงทุนขั้นแรกต่ำกว่า ผลตรวจสอบเก็บได้ถาวร เคลื่อนย้ายได้สะดวก ต้นกำเนิดรังสีมีขนาดเล็กทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ความกระจ่างต่ำ	พลังงานมีระดับเดียวต่อหนึ่งแหล่งกำเนิดรังสี การแพร่กระจายของรังสี การสลายตัวของรังสี บุคลากรต้องได้รับการฝึกทักษะอย่างดี ราคาสัมพันธ์กับขนาดของแหล่งกำเนิดรังสี กำลังการจำแนกต่ำ

ตารางที่ 17 ลักษณะการตรวจสอบกรรมวิธีสารแทรกซึม (ชนิดย้อมสีหรือชนิดเรืองแสง)

กรรมวิธี	ความสามารถในการตรวจพบ	การใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
สารแทรกซึม (ชนิดย้อมสีหรือชนิดเรืองงแสง)	ข้อบกพร่องที่เปิดสู่ พื้นผิวหน้าชิ้นงาน เช่น รอยแตกร้าว ฟ่องอากาศฝังใน รอยตะเข็บและรอยเกย เป็นต้น การรั่วซึมทะลุผ่านผนัง	วัสดุทุกชนิดที่ไม่ดูดซึมซับสารแทรกซึม *หมายเหตุ* การดูดซึมซับสารแทรกซึมแสดงถึงตำแหน่งขนาดของข้อบกพร่อง	ราคาถูก เคลื่อนย้ายสะดวก การวิเคราะห์ผลง่าย การแสดงผลมองเห็นได้ด้วยสายตา	ข้อบกพร่องต้องเปิดสู่ผิวหน้า ทำความสะอาดก่อนและหลังการตรวจสอบ สารเคลือยผิว รอยตราบ รอยเปื้อนเป็นอุปสรรคต่อการตรวจพบลักษณะบกพริ่ง

ตารางที่ 18 ลักษณะการตรวจสอบกรรมวิธีการถ่ายภาพด้วยอนุภาคแม่เหล็ก

กรรมวิธี	ความสามารถในการตรวจพบ	การใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
อนุภาคแม่เหล็ก	ข้อบกพร่องบนพื้นผิวหน้า และภายใต้ผิวหน้า เช่น รอยแตกร้าว รอยตะเข็บ ฟ่องอากาศฝังใน สารมลทินฝังใน เป็นต้น ความสามารถในการแทรกซึมของอำนาจแม่เหล็ก	วัสดุที่เหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กได้ในรูปพรรณ ของแท่ง งานตีขึ้นรูป งานเชื่อมเป็นต้น	ข้อได้เปรียบเหนือกว่าการใช้สารแทรกซึม เพราะว่าสามารถตรวจพบ ข้อบกพร่องภายใต้ผิวหน้าโดยเฉพาะสารมลทินฝังใน สะดวกรวดเร็ว และประหยัด ชุดเครื่องมือขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย	ลบล้างอำนาจแม่เหล็ก ภายหลังการตรวจสอบ ทำความสะอาดชิ้นงานทั้งก่อนและหลังการตรวจสอบ อุปสรรคจากสารเคลือบผิวชิ้นงาน การวางแนวของเส้นแรงแม่เหล็กมีผลต่อการตรวจสอบ

ตารางที่ 19 ลักษณะการตรวจสอบกรรมวิธีกระแสเหนี่ยวนำ

กรรมวิธี	ความสามารถในการตรวจพบ	การใช้งาน	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
กระแสเหนี่ยวนำ (200 Hz-6 MHz)	รอยตะเข็บและรอยแตกร้าวบนผิวหน้าและภายใต้ผิวหน้า วัสดุประสม การปรับปรุงคุณภาพวัสดุด้วยความร้อน ความหนาของชิ้นงาน ความหนาของสารเคลือบผิว ความลึกของรอยแตกร้าว การนำไฟฟ้า ความสามารถในการแทรกซึมของอำนาจแม่เหล็ก	วัสดุที่เหนี่ยวนำเป็นแม่เหล็กได้ในรูปพรรณ ของแท่ง งานตีขึ้นรูป งานเชื่อมเป็นต้น	ข้อได้เปรียบเหนือกว่าการใช้สารแทรกซึมเพราะว่าสามารถตรวจพบ ข้อบกพร่องภายใต้ผิวหน้าโดยเฉพาะสารมลทินฝังในสะดวกรวดเร็วและประหยัด ชุดเครื่องมือขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย	ลบล้างอำนาจแม่เหล็ก ภายหลังการตรวจสอบ ทำความสะอาดชิ้นงานทั้งก่อนและหลังการตรวจสอบ อุปสรรคจากสารเคลือบผิวชิ้นงาน การวางแนวของเส้นแรงแม่เหล็กมีผลต่อการตรวจสอบ

จากตารางที่ 16 ถึงตารางที่ 19 เป็นการถึงลักษณะการตรวจสอบการบวนการการเชื่อมท่อแบบต่างๆแต่ละวิธีมีลักษณะการใช้งาน ความสามารถในการตรวจพบ ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดไม่เหมือนกัน ในคลังปิโตรเลียมนั้นจะใช้การตรวจสอบแบบภาพถ่ายรังสี โดยขั้นแรกจะต้องทำการเลือกรอยเชื่อมท่อก่อนแล้วนำกระดาษพันรอบรอยเชื่อมท่อ จากนั้นนำฟิล์มที่จะถ่ายวางลงบนกระดาษที่พันอยู่แล้วต่อฟิล์มกับเครื่องฉายรังสีแล้วพันเทปทับอีกรอบหนึ่ง จากนั้นทำการเปิดเครื่องฉายรังสี ทิ้งไว้ประมาณ 2-3 นาที โดยขณะที่ทำการฉายรังสีต้องอยู่ห่างจากเครื่องทดสอบประมาณ 200-300 ร้อยเมตรเพื่อความปลอดภัยจากรังสี

5.2 การทดสอบด้วยวิธีทำลายสภาพ

จุดมุ่งหมายของการทดสอบด้วยวิธีการทำลายสภาพ เพื่อพิสูจน์ทราบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ การทดสอบแบบทำลายนั้น ในคลังปิโตรเลียมของ ปตท. จะใช้ก็ต่อเมื่อระบบท่อนั้นเป็นท่อที่ใช้ในการขนส่งก๊าซ ส่วนน้ำมันยังสามารถอนุญาตให้ใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายได้อยู่ ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบอย่างท่อก๊าซ เนื่องจากถ้ากรณีที่ท่อที่ไม่ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีทำลายสภาพ จะไม่สามารถรู้ได้ว่าท่อนั้นทนแรงดันได้มากที่สุดเท่าไร ถ้าเกิดการเพิ่มความดันในระบบเกินกว่าความสามารถของท่อที่จะรับได้ ก็อาจเกิดการรั่วของก๊าซ โดยลักษณะของก๊าซจะไม่มีสีและกลิ่นทำให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบแบบแรงดึงดัดงอและแรงกระแทก

5.2.1 การทดสอบแรงดึง

เกณฑ์การตัดสินการทดสอบแรงดึง

ความเค้นแรงดึง หมายถึงค่าความเค้นแรงดึงของงานเชื่อมที่ได้ต้องไม่ต่ำกว่า

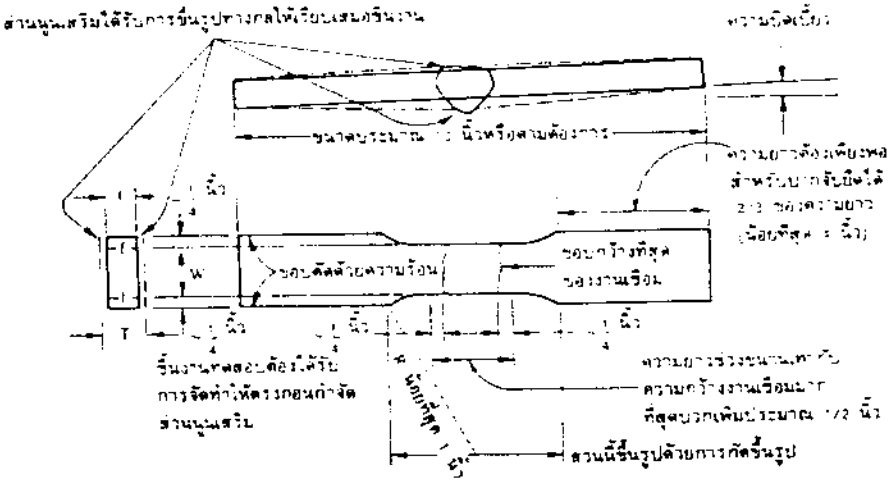
(1.) ค่าความเค้นแรงดึงกำหนดที่ค่าต่ำสุดของโลหะชิ้นงาน

(2.) ค่าความเค้นแรงดึงกำหนดที่ค่าต่ำสุดของโลหะชิ้นงาน ชิ้นที่มีความแข็งแรงต่ำกว่าในกรณีที่โลหะชิ้นงานเป็นวัสดุที่แตกต่างกัน

(3.) ค่าความเค้นแรงดึงกำหนดที่ค่าต่ำสุดของโลหะเชื่อม เมื่อข้อกำหนดการใช้งานสำหรับงานเชื่อมต่ำกว่าค่าความแข็งแรงของโลหะชิ้นงาน ณ อุณหภูมิห้อง

(4.) ถ้าชิ้นงานกำหนดให้แตกสลายที่ตำแหน่งโลหะชิ้นงาน (ไม่ใช่ในบริเวณแนวเชื่อม) การทดสอบเพื่อแสดงว่ายอมรับการใช้งานกำหนดให้ค่าความแข็งแรงต้องไม่ต่ำเกินกว่าค่า 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเค้นแรงต่ำสุดของโลหะชิ้นงาน

การทดสอบแรงดึง ลักษณะชิ้นกำหนดสำหรับทดสอบแรงดึงแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 46 รูปที่ 47 และรูปที่ 48



รูปที่ 46 ชิ้นกำหนดทดสอบแรงดึงงานแผ่นแบน

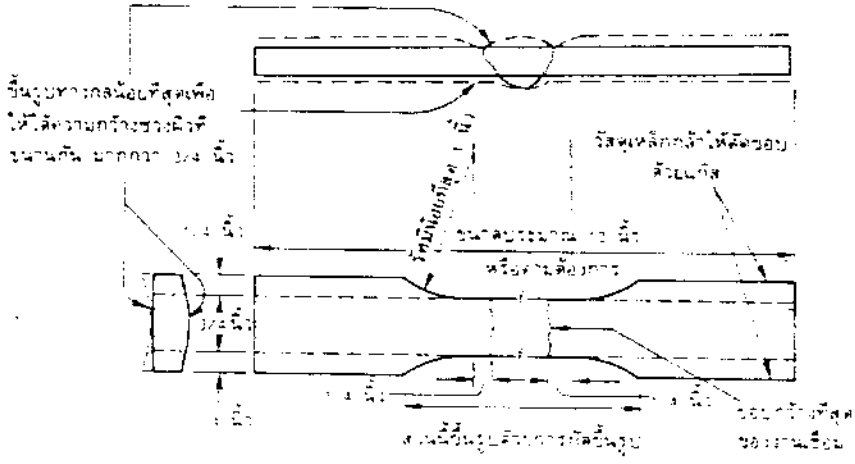
จากรูปที่ 46 กำหนดให้

t คือ ความหนาของชิ้นงาน

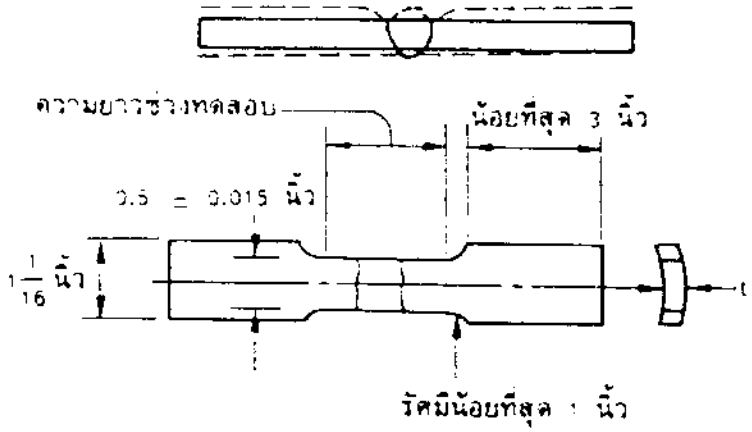
w คือ ประมาณ 1 นิ้ว ถ้าความหนา (t) มากกว่า 1 นิ้ว ถ้าความหนา (t) ไม่เกิน 1 นิ้ว

w คือ ประมาณ 1.5 นิ้ว แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 1 นิ้ว ถ้าความหนา (t) ไม่เกิน 1 นิ้ว

T คือ ความหนาชิ้นงาน



รูปที่ 47 ชิ้นกำหนดทดสอบแรงดึงงานท่อ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 3 นิ้ว)



รูปที่ 48 ชิ้นกำหนดทดสอบแรงดึงงานท่อ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3 นิ้ว)

5.2.2 การทดสอบการดัดงอ

เกณฑ์การตัดสินการทดสอบการดัดงอ ในบริเวณแนวเชื่อมและช่วงได้รับอิทธิพลความร้อน สำหรับการทดสอบการดัดงอตามแนวขวางต้องสมบูรณ์กำหนดในบริเวณที่ดัดงอภายหลังการทดสอบ สำหรับข้อบกพร่องที่ปรากฏ ขนาดต้องไม่เกิน 1/8 นิ้ว (3.2 มิลลิเมตร) วัดขนาดตามผิวโค้งของชิ้นงานทดสอบ ยกเว้นในกรณีที่รอยแตกร้าวเกิดขึ้นที่มุมของชิ้นงานที่ทดสอบไม่ต้องนำมาพิจารณานอกจากพิสูจน์ได้แน่นอนว่าเกิดขึ้นจากสารมลทินฝังใน หรือข้อบกพร่องที่ตรวจพบและไม่เปิดสู่ผิวหน้าต้องไม่เกิน 1/16 นิ้ว (1.6 มิลลิเมตร) และข้อบกพร่องที่เปิดสู่ผิวหน้าต้องไม่เกิน 1/8 นิ้ว (3.2 มิลลิเมตร)

5.2.3 กรรมวิธีการทดสอบแรงกระแทก

การทดสอบแรงกระแทก เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงในการต้านทานต่อแรงกระแทกของวัสดุชิ้นงานที่จัดเตรียมขึ้น ตามเงื่อนไขกำหนดด้วยวิธีกล โดยกรรมวิธีทดสอบดังนี้

ก. กรรมวิธีชาร์ปี้ ชิ้นกำหนดต้องวางบนฐานรองรับที่มีระยะห่างกัน 40 มิลลิเมตรโดยกำหนดให้ร่องบากวางเข้าหาเครื่องมือและอยู่ตรงกลางระหว่างจุดรองรับ กำหนดให้แรงกระแทกจากค้อนตีเพียงครั้งเดียว

ข. กรรมวิธีอิซอด ชิ้นกำหนดจับยึดให้แน่นโดยตำแหน่งแรงกระแทกกระทำที่ร่องบากซึ่งอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 22 มิลลิเมตร กำหนดให้แรงกระแทกจากค้อนตีเพียงครั้งเดียว

(2.) ค่าของการทดสอบแรงกระแทก

ก. ค่าการดูดกลืนพลังงานตามกรรมวิธีชาร์ปี้ คือพลังงาน (kgm) ที่ใช้ในการกระแทกชิ้นกำหนดด้วยเครื่องมือทดสอบแรงกระแทก

ข. ค่าความต้านทานแรงกระแทกตามกรรมวิธีชาร์ปี้ คือ ค่าความต้านทานแรงกระแทก (kgm/cm^2) กำหนดโดย แรงตีกระแทก/พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง

ค. ค่าพลังงานกระแทกตามกรรมวิธีอิซอด คือพลังงาน (kgm) ที่ใช้ในการกระแทกชิ้นกำหนดด้วยเครื่องมือทดสอบแรงกระแทก

(3.) เครื่องมือทดสอบแรงกระแทก

ก. เครื่องมือทดสอบแรงกระแทกตามกรรมวิธีชาร์ปี้ กำหนดตาม JIS B 7722

ข. เครื่องมือทดสอบแรงกระแทกตามกรรมวิธีอิซอด กำหนดตาม JIS B7722

(4.) กรรมวิธีทดสอบ

ก. กรรมวิธีการทดสอบแบบชาร์ปี้ ตำแหน่งการวางของชิ้นกำหนด ต้องมีร่องบากตรงกับกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับโดยกำหนดพิกัดความเผื่อ +/- 0.5 มิลลิเมตร

ข. กรรมวิธีการทดสอบแบบอิซอด ลักษณะเดียวกับข้อที่ ก.

ค. อุณหภูมิสำหรับการทดสอบคือ 20 C +/-2 C และในกรณีที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทดสอบ ต้องบันทึกไว้ในแบบฟอร์มรายงานผล

ง. อุณหภูมิสำหรับการทดสอบที่แตกต่างออกไป ต้องรักษาให้คงที่เป็นเวลาระยะอย่างน้อย 10 นาที(หรือ 60 นาที) ภายในภาชนะบรรจุสารทำความเย็นที่เป็นของเหลว(หรือแก๊ส) โดยกำหนดค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน +/- 2 จากนั้นนำชิ้นกำหนดไปทำการทดสอบให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลา 5 วินาที

(5.) การคำนวณค่าของการทดสอบ พลังงาน E (kgm) ที่ต้องการสำหรับการทดสอบคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$E = WR\ (\cos\beta - \cos\alpha) - L$$

จากสมการ กำหนดให้

W คือ น้ำหนักของค้อนตี (กิโลกรัม)

R คือ ระยะทางของแขนหมุน(เมตร)

α คือ มุมยกของค้อนตี

β คือ มุมเหวี่ยงพ้นชิ้นกำหนด

L คือ พลังงานสูญเสียจากการเคลื่อนที่ของค้อนตี (กิโลกรัม/เมตร)

5.3 การทดสอบความดัน

ในทางปฏิบัติ มีการทดสอบที่ค่อนข้างง่าย ที่นำมาใช้ได้กับอุปกรณ์หลายอย่างในโรงงาน เพื่อตรวจสอบว่ามีการรั่วไหลหลักๆเกิดขึ้นหรือไม่ การทดสอบในลักษณะนี้ ได้แก่ การทดสอบด้วยความดันน้ำหรือไฮดรอลิก (Hydraulic) และทำการตรวจสอบหาการรั่วซึมใดๆ ของของไหล ณ พื้นที่ผิวด้านนอกของถังหรือชิ้นส่วนนั้น โดยขณะทำการทดสอบควรทำความสะอาดพื้นผิว และล้างสีออกตามความเหมาะสมในบริเวณพื้นผิวที่สงสัย นอกจากนี้อาจทำการแยกพื้นผิวบริเวณนั้นออกจากชิ้นส่วนอื่นๆ ด้วยการใช้วาล์วปิดกั้น เพื่อช่วยในการหาตำแหน่งการรั่วไหล

อีกวิธีหนึ่ง คือ การเคลือบพื้นผิวที่ต้องการทดสอบหาการรั่วไหลด้วยสารละลายสบู่หรือผงซักฟอก หลังจากที่ทำการอัดความดันให้กับอุปกรณ์ ซึ่งหากมีการรั่วไหลบริเวณใดก็จะเกิดเป็นฟองขึ้นบริเวณนั้น ข้อควรระวังในการทดสอบด้วยวิธีนี้ คือ ให้ระมัดระวังอันตรายจากอากาศอัด หรือก๊าซอัดที่อยู่ภายใน โดยควรติดตั้งอุปกรณ์ปรับลดความดันในลักษณะอุปกรณ์นิรภัยขณะทำการทดสอบด้วย รวมทั้งควรดูให้ละเอียดว่าความดันที่ใช้ในการทดสอบถูกต้องหรือไม่ โดยเฉพาะจุดทศนิยมมีหรือไม่มี เช่น 1.5 หากดูแบบไม่ระมัดระวังอาจเห็นเป็น 15 ซึ่งทำให้ความดันที่ใช้ทดสอบเพิ่มขึ้นไปถึง 10 เท่า

5.3.1 การทดสอบโดยวิธี Hydrostatic testing

เป็นการทดสอบหารอยรั่วของท่อหลังจากการประกอบท่อโดยการเชื่อมท่อ ซึ่งจะใช้น้ำเป็นตัวทดสอบ ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการนำท่อที่เชื่อมประกอบเสร็จแล้วมาปิดปลายท่อด้วยหน้าแปลน แล้วอีกด้านของท่อใช้เครื่องทดสอบประกอบกับท่อ แล้วปล่อยน้ำเข้าสู่ท่อให้เต็มแล้วเพิ่มความดันให้สูงขึ้นถึง 1.5 เท่า

ของความดันท่อออกแบบไว้แล้วรอทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง (แล้วแต่ชนิดของวัสดุ)โดยขณะทดสอบจะต้องคอยดูความดันภายในท่อว่าลดลงหรือไม่ ถ้าลดลงให้ตรวจดูรอยเชื่อมระหว่างท่อหรือดูท่อว่ามีการรั่วซึมตรงไหน แล้วทำการอุดรอยรั่วนั้น ซึ่งการตรวจดูความดันนั้นจะตรวจดูประมาณทุกๆ 10-15 นาที ถ้าการทดสอบท่อแล้วพบว่าระบบท่อไม่มีความดันลดลงแสดงว่า ระบบท่อนั้นไม่มีการรั่วเกิดขึ้นโดยน้ำที่ผ่านกระบวนการทดสอบท่อก๊าซในแต่ละช่วงจะถูกปล่อยกลับลงไปในแหล่งน้ำเดิมที่ทำการสูบน้ำมาใช้

เนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีใดๆในกระบวนการทดสอบท่อและมีการดำเนินการตามมาตรการควบคุมที่เสนอไว้ คาดว่าผลกระทบที่อาจเกิดจากการปล่อยน้ำที่ใช้ทดสอบท่อทิ้งลงในแหล่งน้ำรองรับ จะมีเพียงเล็กน้อยและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้น้ำที่ทดสอบจะปล่อยกลับสู่ระบบน้ำธรรมชาติด้วยการทำบ่อดักตะกอนก่อนแล้ว จึงปล่อยลงระบบน้ำธรรมชาติ

หมายเหตุ

1. ขณะที่ทำการทดลอง ความดันในท่ออาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสาเหตุอื่นได้ เช่น อุณหภูมิท่อเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเวลาในการทดสอบ อย่างเช่น เริ่มทดสอบตอนเช้าแล้วเสร็จการทดสอบตอนสายๆ ระบบท่อจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น อาจทำให้ความดันสูงขึ้นด้วย หรือในทางกลับกัน ถ้าเริ่มทดสอบตอนบ่ายแล้วเสร็จตอนเย็น อุณหภูมิท่อจะลดลงทำให้ความดันในท่อลดลงด้วย
2. ทำได้เฉพาะท่อหรืออุปกรณ์ที่ถูกออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักของน้ำเท่านั้น

5.3.2 การทดสอบโดยวิธี Pneumatic testing

เป็นการทดสอบหารอยรั่วของท่อหลังจากการประกอบท่อโดยการเชื่อมท่อและไม่สามารถที่จะใช้การทดสอบแบบ Hydrostatic Test ได้ โดยสาเหตุอาจเนื่องมาจากของไหลที่จะใช้ไม่สามารถผสมกับน้ำได้โดยเด็ดขาด เพราะหลังจากการทดสอบความดันอาจเอาน้ำออกไม่หมด 100 % หรือเป็นท่อมุดใต้ดินที่เมื่อใช้การทดสอบแบบ Hydrostatic Test แล้ว ไม่สามารถดูดน้ำออกได้หมดเป็นต้น ซึ่งหลักการการทดสอบจะเหมือนกันกับการทดสอบแบบ Hydrostatic test แต่จะใช้ก๊าซเฉื่อยหรือไนโตรเจนในการทดสอบแทนที่จะใช้น้ำ และใช้น้ำสบู่เทราดลงบนรอยเชื่อม หากมีการรั่วซึมเพียงเล็กน้อย จะเกิดฟองสบู่ขึ้นสามารถสังเกตเห็นได้ ความดันในการทดสอบคือ 1.25 เท่าของความดันใช้งาน การทดสอบแบบ

Pneumatic testing นี้จะอันตรายมากกว่าการทำการทดสอบ Hydrostatic testing ที่ระดับ test pressure เดียวกัน เพราะว่าผลของการผิดปกติของอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งจะให้ผลกระทบที่อันตรายและรุนแรงกว่า ดังนั้นควรจะปรึกษากับ Responsible engineer และพยายามอยู่ห่างส่วนที่ทำการทดสอบระบบท่อให้มากที่สุด จนแน่ใจว่าจะไม่เกิดอันตรายในกรณีเกิดเหตุผิดปกติ ต้องมีการจัดเตรียมมาตราการป้องกันความปลอดภัย และต้องผ่านการอนุมัติเห็นชอบโดย Responsible engineer ก่อนการลงมือทำการทดสอบ ควรจะมีมาตราการต่างๆ ดังต่อไปนี้

(a) มีการป้องกันระบบท่อหรืออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงอย่างเพียงพอ

(b) มีการจัดการพื้นที่ทำการทดสอบให้พร้อมสำหรับการทำงานอย่างปลอดภัย

(c) มีการทำ Non-destructive testing ต่างๆ ก่อนการทดสอบ Pneumatic test

(d) มีการตรวจสอบความต้านทานการแตกร้าวของวัสดุต่างๆ

(e) มาตราการป้องกันการแข็งตัวเป็นน้ำแข็ง ในขณะทำการเติมก๊าซ หรือปล่อยก๊าซ

(f) มีการเตรียมจัดหาระบบเฝ้าดูระยะไกลในระหว่างการทดสอบ

(g) ใช้เฉพาะคอมเพรสเซอร์ที่อัดอากาศกับ N_2 เท่านั้น

(h) โดยปกติจะทดสอบที่ความดันต่ำ

(i) ต้องป้องกัน N_2 ไม่ให้เกิดการสูดดมหรือหายใจเข้าไปเนื่องจากจะเกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ